

随机限食对小鼠代谢产热的影响

赵志军^{1,2}, 曹静¹, 田野¹, 王瑞瑞¹, 王桂英¹

(1. 聊城大学农学院, 山东聊城 252059; 2. 山东省生态学与生物多样性重点实验室, 山东聊城 252059)

摘要 [目的]研究随机限食条件下 KM 小鼠的代谢产热, 深入理解能量代谢和产热在动物适应限食应激中的作用和意义。[方法]成年 KM 小鼠随机限食 4 d/周, 共驯化 4 周, 采用封闭式流体压力呼吸计测定基础代谢(BMR)和非颤抖性产热(NST)。[结果]对照组动物体重增长了 15.1%, 而限食组降低了 5.3%, 限食组显著低于对照组($P < 0.01$); 随机限制显著增加了摄食量, 摄食量最大值为 (11.94 ± 0.52) g/d, 比对照组高 132.8% ($P < 0.001$); 限食使 BMR ($P < 0.05$) 和 NST ($P < 0.05$) 显著降低; 随机限食使胴体重显著降低 ($P < 0.01$), 但未影响脂肪重量和含量 ($P > 0.05$)。[结论]动物能通过能量摄入和支出的权衡策略适应随机限食的应激环境, 代谢和产热的适应性调节在能量代谢的权衡策略中发挥重要作用。

关键词 限食; 代谢; 产热; 小鼠

中图分类号 Q494 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)16-07460-02

Effect of the Random Restricting Food on the Energy Metabolism and Thermogenesis in KM Mice

ZHAO Zhi-jun et al (School of Agricultural Science, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059)

Abstract [Objective] The role and significance of the reaction of the animal restricted in food to energy metabolism and thermogenesis were fully understood through the research on the random restricting food of KM mice. [Method] The diet for the adult male KM mice were restricted for 4 days/week in successive weeks and the basal metabolic rate (BMR) and non-shivering thermogenesis (NST) of the treated mice were measured with a closed-circuit respirometer. [Results] The body weight of the Ck was increased for 15.1% and the Treatment, was reduced for 5.3%, which was significant difference. The food-taking of mice was significantly raised after treatment with the maximum amount of food-taking was (11.94 ± 0.52) g/day and the BMR and NST in treatment group were reduced ($P < 0.05$) and the body weight of the treated mice was significantly decreased ($P < 0.01$), which did not affect the content of fat. [Conclusion] Animal could balance his metabolism under the stress and the physiological regulations of animal played important role in energy metabolism and thermogenesis under random food restricting stress.

Key words Food restriction; Energy metabolism; Thermogenesis; Mouse

代谢和产热的能量支出对动物能量权衡策略具有重要意义。食物资源限制是动物面临的主要应激环境之一。食物资源减少会导致基础代谢(BMR)降低, 从而节省能量支出^[1-2]。非颤抖性产热(NST)也是小型哺乳动物最主要的能量支出之一, 受环境的影响显著, 如温度、光周期和食物质量^[3-5], 但 BMR 和 NST 在随机限食小鼠能量权衡策略中的意义尚不清楚。

为了探讨动物适应食物资源限制的能量权衡策略, 揭示基础代谢和产热在动物适应限食应激过程中的作用和意义, 笔者测定了随机限食对 KM 小鼠食物摄入、BMR、NST 和脂肪含量的影响。笔者假设: 动物通过能量摄入和支出的权衡策略以适应随机限食的应激环境, 基础代谢和产热的生理适应性调节在能量代谢的权衡策略中发挥重要作用。

1 材料与方法

1.1 试验动物 试验用 30 只雄性 KM 小鼠购自山东大学实验动物中心 [许可证号: SCXK(鲁)2003-0004]。单笼饲养 (29 cm × 18 cm × 16 cm), 光照 12 L:12 D, 温度 (23 ± 1) °C, 自由取食和饮水 (山东省实验动物中心生产的普通小鼠饲料)。10~11 周龄时随机分为 2 组: 对照组 (Con, $n = 15$), 自由取食; 试验组 (Exp, $n = 15$), 每周随机禁食 4 d, 其余 3 d 自由取食。驯化 4 周, 每天测定摄食量, 每 3 d 测定体重。

1.2 方法

1.2.1 BMR 和 NST 测定。 驯化结束后, 以封闭式流体压力

呼吸计测定动物的代谢率^[4]。呼吸室容积为 3.6 L, 以 KOH 吸收动物呼出的 CO₂, 以干燥硅胶吸收水分。BMR 测定温度为 (30 ± 1) °C, 水浴控温 ± 1 °C。测定前动物饥饿 4 h, 放入呼吸室适应 1 h, 待动物稳定后开始记录, 每隔 5 min 记录 1 次, 连续测定 60 min。选取 2 个连续稳定的最低值计算 BMR (mlO₂/h)。NST 采用皮下注射与动物体重相应剂量的去甲肾上腺素 (NE) 诱导^[5], 测定温度为 (25 ± 1) °C。先将动物放入呼吸室中适应 30 min, 皮下注射 NE 后迅速放回呼吸室中, 开始记录耗氧量。每隔 5 min 记录 1 次, 连续测定 60 min, 选取 2 个连续稳定的最高值计算 NST (mlO₂/h)^[4,6]。

1.2.2 脂肪含量。 断颈处死动物, 分离睾丸周、腹部和皮下脂肪 (0.001 g), 合计作为脂肪重量。去除内脏器官和消化道后称重, 作为胴体重。脂肪重量占胴体的百分率作为脂肪含量^[7]。

1.3 统计分析 数据处理采用 SPSS 13.0 软件包。体重、摄食量、BMR 和 NST, 以及胴体、脂肪重量和含量的组间差异采用独立样本 *t* 检验进行分析。数据全部表示为平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE), $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

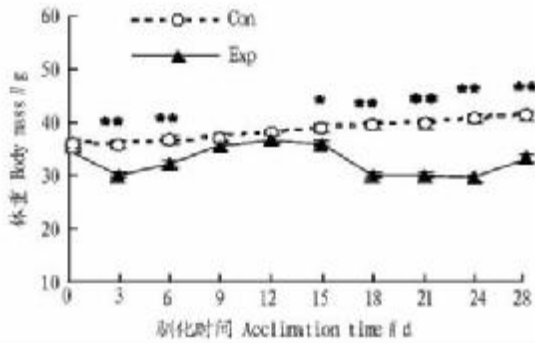
2 结果与分析

2.1 体重 试验开始时对照组和试验组间无显著差异 ($t_{28} = 0.253, P > 0.05$, 图 1)。驯化开始后, 对照组体重稳定增长, 驯化结束后为 (41.35 ± 0.97) g, 比驯化开始时增长了 15.1%。而试验组体重出现了明显地波动, 呈降低趋势, 驯化结束后为 (33.44 ± 0.79) g, 比初始体重降低了 5.3%。试验组分别于驯化第 3、6 天, 以及第 15~28 天显著低于对照组 ($d_3, t_{28} = 4.553, P < 0.01$; $d_{28}, t_{28} = 5.569, P < 0.01$, 图 1)。

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30800130); 聊城大学博士科研启动基金资助项目 (31805)。

作者简介 赵志军 (1973 -), 男, 河北唐山人, 博士, 副教授, 从事动物生态生理学研究。

收稿日期 2009-03-13



注: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$, 下图同。
Note: * indicates $P < 0.05$; ** indicates $P < 0.01$. The same as follows.

图1 随机限食对 KM 小鼠体重的影响

Fig.1 Effect of random food restriction on body weight in KM mice

2.2 摄食量 试验开始时,摄食量组间无显著差异 ($t_{28} = 0.061, P > 0.05$, 图 2)。驯化开始后,对照组摄食量基本稳定,但在自由取食日试验组摄食量极显著增加 ($d_4, t_{28} = 5.811, P < 0.01$; $d_{27}, t_{28} = 5.161, P < 0.01$),最大值为 $(11.94 \pm 0.52) \text{ g/d}$,比对照组高 132.8% ($d_{20}, t_{28} = 6.362, P < 0.01$)。但整个试验过程的累计摄食量组间差异显著 ($t_{28} = 3.271, P < 0.05$),试验组 $(125.34 \pm 5.02) \text{ g}$ 显著低于对照组 $(152.64 \pm 4.86) \text{ g}$ 。

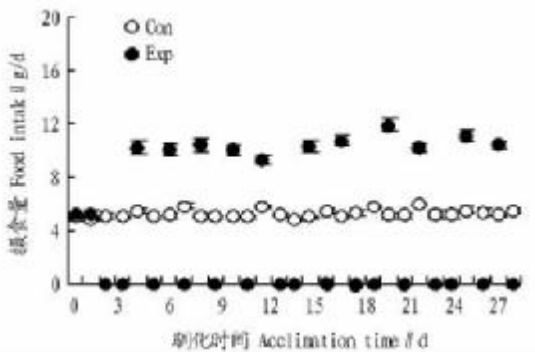


图2 随机限食对 KM 小鼠摄食量的影响

Fig.2 Effect of random food restriction on food intake in KM mice

2.3 BMR 和 NST 驯化结束后,试验组 BMR 显著低于对照组 ($t_{28} = 2.060, P < 0.05$, 图 3)。与 BMR 的变化相似,试验组 NST 也显著低于对照组 ($t_{28} = 2.325, P < 0.05$, 图 3)。

2.4 胴体和脂肪含量 试验组胴体均显著低于对照组(表 1),但随机限食对脂肪无显著影响。脂肪含量组间差异亦不显著(表 1)。

3 讨论

食物质量或者食物来源的变化影响许多动物的体重、胴体和脂肪含量^[8-9]。笔者研究表明,随机限食使 KM 小鼠体重显著降低,驯化 4 周后试验组比对照组低 19%。与笔者的研究结果相似,限食 25% 和 50% 大鼠的体重分别降低了 22% 和 40%^[8]。然而限食 20% 小鼠和 30% 大鼠的体重未出现显著地变化^[10-11]。这些研究结果似乎表明,动物体重的变化受限食程度的影响。若限食幅度较小,动物可能通过提高消化道的吸收效率增加能量摄入,降低代谢率

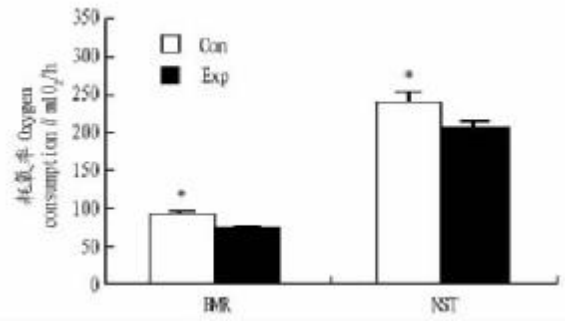


图3 随机限食对 KM 小鼠 BMR 和 NST 的影响

Fig.3 Effect of random food restriction on BMR and NST in KM mice

以节省能量支出,从而维持能量平衡。然而当限食程度增加,动物可能无法通过上述调节途径以弥补能量摄入的不足,从而表现为体重降低^[8-9]。

表 1 随机限食对 KM 小鼠胴体和脂肪的影响

Table 1 Effect of random food restriction on carcass and fat weight in KM mice

处理	胴体重//g	脂肪重量//g	脂肪含量//%
Treatments	Carcass weight	Fat weight	Fat content
对照组 Control group	28.2 ± 0.7	1.723 ± 0.141	6.1 ± 0.7
试验组 Test group	21.2 ± 0.5	1.009 ± 0.062	5.2 ± 0.2
P	<0.01	>0.05	>0.05

KM 小鼠每周随机限食 4 d,其余 3 d 自由取食,表现为日摄食量极显著增加,但总摄食量仍显著低于对照组,可能是消化系统对食物消化和吸收的能力最终限制了对内容物的消化和吸收效率,最终导致了总摄食量降低^[2]。此外,限食组胴体重显著低于对照组,而脂肪重量和含量未出现显著变化。但限食在导致长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*) 胴体重降低的同时,脂肪含量亦显著低于对照组,暗示动物适应限食应激的策略可能具有种属差异^[2,9]。KM 小鼠通过降低胴体重以减少自身维持所需的能量支出,而非动用身体贮存的能量。

BMR 和 NST 是小型哺乳动物最主要的能量支出,在能量平衡的调节中发挥重要作用。许多动物通过改变 BMR 和 NST 来调节能量代谢,以适应环境条件的变化^[1-2,11]。笔者发现,随机限食使 KM 小鼠的 BMR 和 NST 显著降低。Hamblly 等计算了限食 20% MF₁ 小鼠的 RMR,认为 RMR 在适应限食的补偿策略中所占的贡献为 22.3%^[11]。同样,限食大鼠和小鼠的代谢率也显著降低^[12]。这些研究结果表明,当受到食物资源限制时,小型哺乳动物将通过降低基础代谢以减少能量支出;同时 KM 小鼠还降低 NST 以节省能量消耗。故此,代谢和产热的调节对适应限食应激具有重要意义。

总之,随机限食条件下,KM 小鼠摄食量显著增加,BMR 和 NST 显著降低,脂肪未出现显著变化。研究结果支持假设,即动物通过能量摄入和支出的权衡策略,包括提高摄食、降低代谢和产热的能量消耗,而非动用贮存能量,以适应随机限食的应激环境。在随机限食条件下,基础代谢和产热在能量代谢的权衡策略中发挥重要作用。

(下转第 7497 页)

等^[15]、线薇薇等^[16]、王瑁等^[13]对牙鲆、梭鱼、花尾胡椒鲷的研究结果相似,符合鱼类排氨率随水温上升而增加的一般规律;但在温度 18~22℃ 时,随着温度的上升,金鱼的排氨率

却呈现下降趋势。笔者认为可能是当水温超过 18℃ 以后,试验金鱼的组织代谢逐渐进入麻痹状态,造成其排氨率下降。

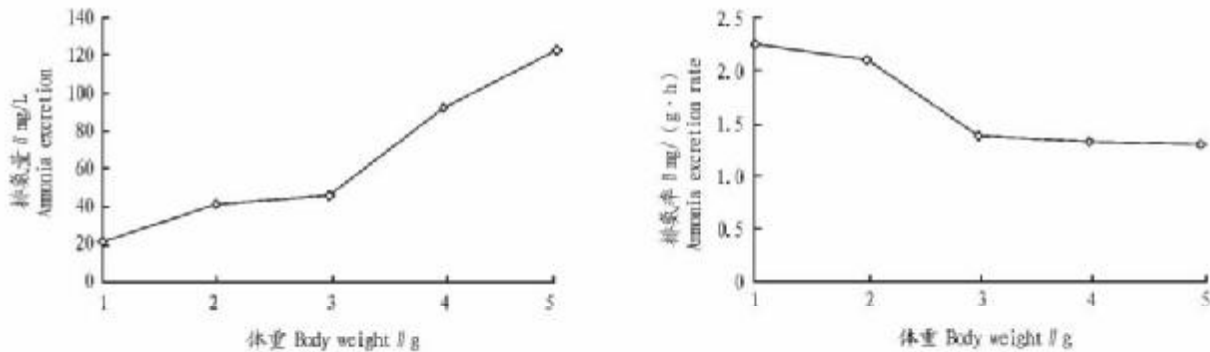


图 4 体重对金鱼排氨量和排氨率的影响

Fig. 4 The effect of body weight on the ammonia excretion and ammonia excretion rate of *Carassius auratus* Linnaeus

3.2 体重对金鱼呼吸和排泄的影响 体重是影响水生动物耗氧率和排氨率的重要因素之一。该研究发现,体重对金鱼的呼吸和排泄有显著的影响,个体较小的金鱼耗氧量和排氨量比个体大的要低,但个体较小的金鱼耗氧率和排氨率比个体大的要高,这与对其他鱼类的呼吸研究得到的结果一致。姜祖辉等认为,这可能与水生动物在生长过程中组织、脏器的比重有关,直接维持生命的组织和脏器如肾脏、肝脏等的新陈代谢高于非直接维持生命的其他组织如肌肉、脂肪等^[17]。随着动物的生长,这 2 种组织的比率逐渐减小,即肌肉和脂肪等积累增多,从而引起随个体增大而单位重量的耗氧率和排氨率降低的现象。笔者认为,可能是由于维持鱼体生命活动的重要组织器官在个体较小时占整个鱼体重量比例较大,所以耗氧率和排氨率也较高。但随个体的不断增长,耗氧率和排氨率相对下降,可能因为个体小的鱼体正处于生长发育过程中,代谢活动比大鱼旺盛。

参考文献

- [1] 严维辉, 刘炜, 韩飞, 等. 金鱼仔鱼摄食与生长的初步研究[J]. 江西水产科技, 2006(3): 16-20.
- [2] 刘文生, 郭锦, 彭文伟, 等. 金鱼早期仔鱼体表的电镜观察[J]. 动物学杂志, 2006, 41(2): 81-86.
- [3] 李霞, 福田颖穗. 金鱼疱疹病毒敏感细胞的体外培养[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 12-18.
- [4] 刘金海, 王安利, 王维那. 金鱼总色素及色素组分的比较研究[J]. 水生

生物学报, 2007, 31(1): 73-77.

- [5] 张学义, 李家乐, 赵晓勤, 等. 八个品种金鱼及野生鲫线粒体控制区遗传差异和亲缘关系的研究[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(6): 513-517.
- [6] 牟希东, 白俊杰, 汪学杰, 等. 三个不同养殖群体金鱼遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 海洋渔业, 2007, 29(1): 20-24.
- [7] 吴滢, 傅洪拓, 龚永生, 等. 四种金鱼的遗传多样性研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 624-627.
- [8] 徐如卫, 江锦坡, 肖建忠. 大口黑鲈 *Micropterus salmoides* 仔、稚鱼窒息点与耗氧率的初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(2): 110-115.
- [9] 董存有, 张金荣. 真鲷窒息点与耗氧率的初步测定[J]. 水产学报, 1992, 16(2): 75-79.
- [10] 王艺磊, 张自平, 张殿鹏, 等. 真鲷耗氧率的初步研究[J]. 集美大学学报, 2002, 7(3): 193-197.
- [11] 谢刚, 许淑英, 祁福前, 等. 卷口鱼耗氧率规律的研究[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 89-94.
- [12] 宋苏祥, 刘洪柏, 孙大江, 等. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 100-103.
- [13] 王瑁, 邱书院. 花尾胡椒鱼内外源性氮和总氮排泄率的研究[J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 87-92.
- [14] 王波, 李继强, 曹志海, 等. 大西洋牙幼鱼标准代谢的研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 62-68.
- [15] 张美昭, 张兆琪, 郑春波, 等. 牙鲆幼鱼能量代谢的初步研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(1): 75-78.
- [16] 线薇薇, 朱鑫华. 梭鱼标准代谢、内源氮排泄与体重和温度的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(3): 368-374.
- [17] 姜祖辉, 王俊, 唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学研究[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 40-44.

(上接第 7461 页)

参考文献

- [1] VELOSO C, BOZINOVIC F. Dietary and digestive constraints on basal energy metabolism in a small herbivorous rodent[J]. Ecology, 1993, 74: 2003-2010.
- [2] ZHAO Z J, WANG D H. Effects of diet quality on energy budgets and thermogenesis in Brandt's voles[J]. Comp Biochem Physiol, 2007, 148A: 168-177.
- [3] HELDMAIER G. Nonshivering thermogenesis and body size in mammals[J]. J Comp Physiol, 1971, 73: 222-248.
- [4] ZHAO Z J, WANG D H. Short photoperiod enhances thermogenic capacity in Brandt's voles[J]. Physiol Behav, 2005, 85: 143-149.
- [5] 赵志军, 陈竞峰, 王德华. 光周期和高脂食物对布氏田鼠能量代谢和产热的影响[J]. 动物学报, 2008, 54(4): 576-589.
- [6] WANG D H, WANG Y S, WANG Z W. Metabolism and thermoregulation in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) [J]. Acta Theriologica, 2000, 45: 183-192.
- [7] ZHAO Z J, WANG D H. Effect of photoperiod on body mass, energy bal-

ance and thermogenesis in Mongolian gerbils[J]. J Therm Biol, 2006, 31: 323-331.

- [8] SUCAJTYIS-SZULC E, GOYKE E, KORCZYNSKA J, et al. Chronic food restriction differentially affects NPY mRNA level in neurons of the hypothalamus and in neurons that innervate liver[J]. Neurosci Lett, 2008, 433: 174-177.
- [9] ZHANG L N, WANG D H. Effects of food restriction and refeeding on energy balance regulation in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) [J]. BFDG Abstracts/Appetite, 2008, 51: 751-764.
- [10] GURSOY E, CARDOUNE A, HU Y, et al. Biological effects of long-term caloric restriction: adaptation with simultaneous administration of caloric stress plus repeated immobilization stress in rats[J]. Soc Exp Biol Med, 2001, 226: 97-102.
- [11] HAMBLY C, SPEAKMAN J R. Contribution of different mechanisms to compensation for energy restriction in the mouse[J]. Obes Res, 2005, 13: 1548-1557.
- [12] MCCARTER R J M, PALMER J. Energy metabolism and aging: a life-long study in Fischer 344 rats[J]. Am J Physiol, 1992, 263: 448-452.